

RESTAURACIÓN VIRTUAL DEL SONIDO DE LOS ESPACIOS PERDIDOS. EL SONIDO DEL ANTIGUO RITO HISPÁNICO

Autores: A. Pedrero (1), A. Díaz-Chyla (1), C. Díaz (1) y M. A. Navacerrada (1)

(1) Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica. ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

Las técnicas de realidad acústica virtual son una poderosa herramienta para la recuperación del patrimonio cultural de los sonidos de los recintos históricos. Gracias a la modelización acústica y a las técnicas de auralización es posible reconstruir el sonido que tenían, en su estado original, recintos que se han perdido o que han sufrido modificaciones a lo largo de los años. Esta recuperación virtual es posible si se conoce la geometría original de los recintos y las características acústicas de sus paramentos.

En este trabajo se presentan los resultados de un proyecto de investigación cuyo objetivo es la recuperación virtual del sonido del Antiguo Rito Hispánico, que es el rito que se celebraba en la península ibérica antes de la imposición del rito romano a finales del siglo XI. Para ello se han realizado modelos acústicos de una serie de iglesias prerrománicas siguiendo las hipótesis de reconstrucción de su estado altomedieval propuestas en la literatura arqueológica más reciente. Además, se han realizado grabaciones anecoicas de la música propia de esta liturgia, conocida como Canto Mozárabe, y se han efectuado auralizaciones, tanto estáticas como dinámicas, correspondientes a diferentes configuraciones litúrgicas habituales en este rito.

Palabras clave: Realidad acústica virtual; Auralización; Rito Hispánico; Canto Mozárabe.

1 INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones más interesantes de las tecnologías de realidad acústica virtual es la recreación virtual de los espacios sonoros. Mediante las técnicas de auralización, y partiendo de unas condiciones de contorno válidas, se puede reconstruir digitalmente, de manera verosímil, el sonido producido en cualquier espacio, real o imaginario.

El término *Auralización* fue acuñado por Mendel Kleiner [1], quien lo define como el proceso que produce una representación audible, mediante modelado físico o matemático, del campo sonoro producido por una fuente sonora en un espacio, de tal manera que simule la experiencia de escucha binaural en una determinada posición de dicho espacio.

Desde el punto de vista matemático, la auralización consiste en la convolución de la Respuesta Impulsiva Binaural del Recinto (en inglés BRIR) para un determinado camino de transmisión emisor-receptor, con una señal sonora obtenida en condiciones anecoicas.

La respuesta impulsiva binaural es una magnitud que describe de manera absoluta la transformación de la señal sonora en un espacio, desde su emisión por la fuente sonora hasta su recepción en ambos oídos del oyente. La BRIR para cada combinación emisor-receptor se obtiene mediante programas de simulación acústica que utilizan como datos de partida la geometría de la envolvente interior del recinto a modelar, las propiedades acústicas de los materiales que conforman dicha envolvente interior y las posiciones del emisor y el receptor. Si se conocen estos datos de partida, se pueden realizar las

auralizaciones del sonido en un espacio aunque este espacio no exista en la realidad, lo cual hace esta herramienta especialmente valiosa para evaluar el comportamiento acústico de los edificios en la fase de proyecto o para reconstruir el sonido original de construcciones que se han perdido o cuyas características han sufrido modificaciones a lo largo del tiempo.

La otra componente necesaria para realizar la auralización es la señal sonora cuya escucha se pretende recrear. Esta señal sonora debe estar grabada en cámara anecoica para evitar que el resultado final esté influenciado por las características acústicas de la sala en la que se realizó la grabación.

En este trabajo, las tecnologías de realidad acústica virtual se utilizan para tratar de reconstruir virtualmente el sonido producido en las actividades litúrgicas del antiguo rito hispánico. Se trata de un patrimonio cultural desaparecido, tanto desde el punto de vista de las señales sonoras que lo integraban ya que la mayoría de las melodías que conformaban el rito se han perdido, como desde el punto de vista de los espacios en los que se desarrollaba, debido a que las iglesias conservadas de la época han sufrido modificaciones a lo largo de los siglos que alteran sus condiciones acústicas con respecto a las que tenían en el periodo de vigencia de esta liturgia.

2 EL ANTIGUO RITO HISPÁNICO

El Antiguo Rito Hispánico (también conocido como rito visigótico-mozárabe) es una de las manifestaciones culturales más interesantes de la alta edad media en occidente. Bajo este nombre se conoce a la liturgia que celebraban los cristianos de la península ibérica anterior a la implantación del culto romano a mediados del siglo XI. El rito hispánico se fue forjando en los primeros siglos del cristianismo y se uniformizó tras la unificación político-religiosa fomentada por los reyes visigodos. El punto álgido en cuanto su consolidación y difusión fue el siglo VII, cuando este rito era celebrado en toda la península Ibérica.

Con la reconquista se inició un proceso paulatino de sustitución del rito hispano por el romano que culminó con la abolición, por parte de Alfonso VI, de esta liturgia en los reinos de Castilla y León en el año 1080. Unos años después, Alfonso VI reconquistó Toledo y, en reconocimiento a su resistencia permitió a los mozárabes seguir celebrando su antigua liturgia en las seis parroquias entonces existentes. Así, el rito hispánico pervivió, aunque no sin dificultades, en los siglos siguientes, transmitiéndose oralmente de generación en generación.

El Cardenal Francisco Jiménez de Cisneros, al tomar posesión de la sede arzobispal de Toledo el año 1495, se dio cuenta del valor religioso y cultural de la liturgia de los mozárabes y advirtió también los peligros de extinción que la amenazaban. Para asegurar la continuidad del rito, el Cardenal Cisneros instituyó la Capilla Mozárabe, le asignó la capilla del Corpus Christi de la Catedral para que allí se celebrara todos los días el oficio y la Misa según el antiguo rito, y encargó la edición impresa de los libros litúrgicos y los libros de canto.

2.1 La música del Antiguo Rito Hispánico. Canto Mozárabe.

Al igual que en resto de liturgias cristianas primitivas la música era el elemento central del rito hispánico. Esta música denominada "canto mozárabe" constituye sin duda el repertorio litúrgico-musical más rico de la alta edad media, superando en variedad al propio canto gregoriano, debido a que el rito hispánico era mucho más prolijo que el galorromano.

La música del rito hispánico ha quedado documentada en un gran número de manuscritos, fundamentalmente del siglo X, pero escrita en un tipo de notación primitivo que no permite descifrar la altura de los sonidos, lo que hace imposible su interpretación. La transmisión oral del repertorio durante siglos hizo que las melodías transcritas por Cisneros a finales del siglo XV difieran notablemente de las melodías originales [2].

A día de hoy, la investigación musicológica del repertorio solamente ha podido recuperar la música de una veintena de piezas del repertorio original. En total se han transcrito dieciséis piezas del Oficio de Difuntos, tres antifonas del oficio del Jueves Santo varias Preces y de seis piezas pertenecientes al «Ordo de la consagración del altar».

2.2 Los espacios del Antiguo Rito Hispánico. Iglesias prerrománicas hispanas.

Los escenarios en los que se desarrolló y se practicó el rito hispánico son las iglesias prerrománicas de la península ibérica. Bajo esta denominación se cataloga un nutrido y heterogéneo grupo de construcciones del que se han perdido algunos de los edificios más significativos y otros muchos han sufrido modificaciones sustanciales a lo largo de los siglos.

Se trata en general de iglesias de pequeñas dimensiones comparadas con las de épocas posteriores, cuyas formas y técnicas constructivas se caracterizan no seguir un patrón homogéneo. No obstante, se pueden establecer unas características generales [3]:

- Se emplean muros gruesos con vanos pequeños. En referencia al aparejo, se pueden distinguir dos tipos principales: la mampostería y la sillería.
- Se utilizan dos tipos de soluciones de cubierta: cubiertas abovedadas y cubiertas de madera. En cuanto a las primeras se aplican diferentes técnicas de abovedamiento, siendo las bóvedas de cañón las más frecuentes. Las cubriciones de madera de tradición romana se emplean para cubrir los espacios grandes, o las construcciones más modestas.
- Las plantas adquieren formas diversas, aunque las más frecuentes son las de tipo basilical, rematadas bien por un ábside o por una cabecera tripartita, y las cruciformes en las que podemos diferenciar las de forma de cruz griega y otras mixtas en la que la forma de cruz central se inscribe en un rectángulo.

Aparte de las modificaciones producidas en la forma de las iglesias por las reformas que los edificios han sufrido a lo largo del tiempo, existen otros aspectos que han cambiado entre su estado original y el estado actual y que influyen notablemente en el comportamiento acústico de los recintos. En cuanto a la compartimentación de los espacios, el santuario (y en ocasiones el coro) estaba separado del aula mediante cancelas altas, a modo de iconostasio, en los que unas cortinas cerraban la zona sagrada durante algunas fases de la liturgia. Por otra parte, la piedra desnuda que observamos hoy en la mayoría de las construcciones de la época, estaría muy probablemente enlucida y decorada con motivos pictóricos [4].

3 LAS IGLESIAS SELECCIONADAS

Se ha seleccionado un grupo de iglesias para realizar las auralizaciones. Para elegir la muestra de las iglesias a estudiar no se ha seguido un criterio cronológico ni estilístico, sino que se ha procurado que en las iglesias seleccionadas sean representativas de la variedad de comportamientos acústicos esperables en este tipo de edificios. En este sentido se ha procurado que la muestra de iglesias contenga edificios con diferencias en los parámetros que, a priori, van a influir de mayor manera a su comportamiento acústico: el volumen del recinto, la forma de la planta y el tipo de cubierta. Además de los condicionamientos acústicos, se han elegido iglesias cuyo estado de conservación fuese suficientemente bueno

como para poder realizar mediciones acústicas que permitan validar los modelos digitales, y que contasen con estudios arqueológicos que permitiesen reconstruir su estado original. Con estas premisas, se han seleccionado cinco iglesias: **San Juan de Baños**, como iglesia de tipo basilical de tamaño pequeño, **San Cebrían de Mazote**, también de tipo basilical pero de gran tamaño, **Santa María de Melque** como ejemplo de iglesia cruciforme, **San Pedro de la Nave** representando las iglesias con planta mixta y **Santa Lucía del Trampal** por su singularidad estructural. La Tabla 1 presenta los parámetros más influyentes de las iglesias en cuanto a su comportamiento acústico, tanto en su estado actual como en el estado original.

Iglesia	Vol. (m³)	Planta	Cubierta	
			Actual	Original
San Juan de Baños	928	Basilical	Madera	Madera
Santa Lucía del Trampal	745	Basilical	Madera	Abovedada
San Pedro de la Nave	780	Mixta	Mixta	Abovedada
Santa María de Melque	1220	Cruz	Abovedada	Abovedada
San Cebrían de Mazote	2700	Basilical	Madera	Madera

Tabla 1. Parámetros más relevantes para el comportamiento acústico de las iglesias seleccionadas

4 MODELADO Y AURALIZACIÓN

4.1 Creación y validación de los modelos digitales de las iglesias

El proceso de creación de los modelos acústicos digitales de las iglesias se ha dividido en dos fases. En la primera se han creado modelos de las iglesias en su estado actual, que se han validado a partir de los datos obtenidos en mediciones acústicas realizadas *in situ* [5]. A partir de los modelos validados de las iglesias en su estado actual, en la segunda fase se han generado los modelos acústicos digitales correspondientes al estado original de las iglesias modificando los anteriores de acuerdo con las hipótesis de reconstrucción establecidas en la literatura arqueológica consultada. Dichos modelos se muestran en la Figura 1.

Los modelos acústicos digitales se han elaborado mediante dos programas distintos de simulación acústica: Odeon, comercializado por Odeon A/S, y RAVEN, desarrollado por el Institute of Technical Acoustics de la Universidad de Aquisgrán. En ambos casos se utiliza un algoritmo de cálculo híbrido que combina un modelo de fuentes imagen para el cálculo de las primeras reflexiones y un modelo de trazado de rayos para las reflexiones tardías. La diferencia fundamental entre los dos programas es que RAVEN permite la realización de los cálculos acústicos con las fuentes sonoras y/o los receptores en movimiento [6], por lo que este software se ha utilizado para las auralizaciones dinámicas que se explicarán posteriormente.

4.2 Grabaciones anecoicas

Para realizar las auralizaciones del antiguo rito hispánico es necesario disponer de grabaciones anecoicas del canto mozárabe, que se convolucionarán posteriormente con las respuestas impulsivas biaurales de las iglesias modeladas. Con este motivo se han realizado grabaciones en cámara anecoica de una serie de piezas del repertorio original del canto mozárabe. Las grabaciones se han realizado en colaboración con el Institute of Technical Acoustics (ITA) de la universidad de Aquisgrán.

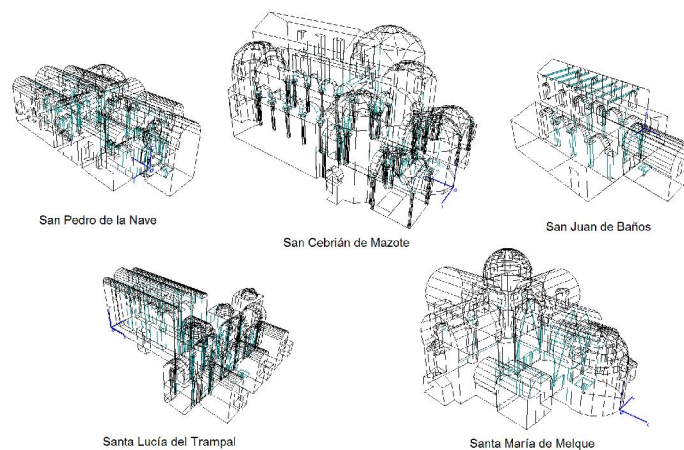


Figura 1. Modelos digitales de las iglesias en su estado original

Se ha grabado por separado a diferentes cantantes en cámara anecoica. Para ello se han utilizado dos sistemas de captación: un sistema principal consistente en una pareja microfónica de alta calidad del que se obtuvo la señal anecoica base, y un sistema multimicrofónico, formado por 31 micrófonos distribuidos esféricamente alrededor del cantante, destinado a registrar en tiempo real la directividad de la voz de los músicos.

La selección de las piezas a grabar se ha realizado atendiendo a que la muestra sea representativa del conjunto de piezas recuperadas de este repertorio. En total se han grabado ocho piezas del repertorio hispano-visigótico. Siete de ellas pertenecen al Oficio de Difuntos, y la octava al Rito de Consagración del Altar. Las interpretaciones han corrido a cargo de miembros del grupo musical SCHOLA ANTIQUA, dirigido por Juan Carlos Asensio Palacios. SCHOLA ANTIQUA es un grupo formado en 1984, dedicado al estudio, investigación e interpretación de la música antigua y en especial del canto litúrgico medieval y especialistas en este repertorio.

4.3 Auralizaciones

Se han realizado dos tipos de auralizaciones, estáticas y dinámicas. En las auralizaciones estáticas las fuentes sonoras y los receptores permanecen en posiciones fijas. La fuente sonora que simula al oficiante se sitúa en el ábside principal. De acuerdo con las fuentes escritas que describen el rito [7], las fuentes sonoras que simulan al resto de celebrantes se han distribuido en dos grupos situados frente al ábside, uno delante del otro, emulando los dos coros que alternaban el canto en las piezas antifonales. Para una de las piezas musicales, además de las que representan a los celebrantes, se han dispuesto fuentes sonoras distribuidas por las naves para simular a los feligreses en una liturgia pública. Las auralizaciones se han realizado en la posición de dos receptores situados en el centro de la nave y en el coro, respectivamente.

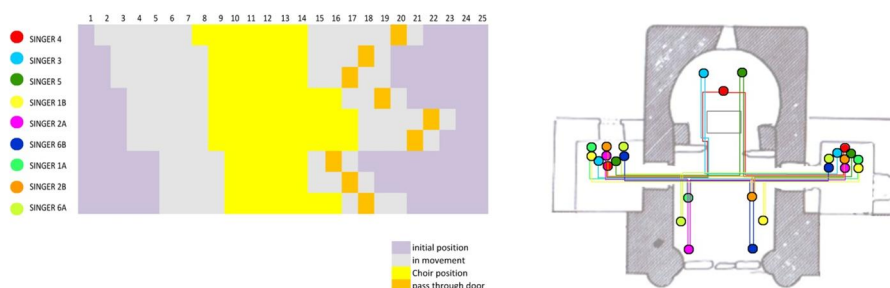


Figura 2. Ejemplo de orden de movimiento de las fuentes sonoras en una auralización dinámica.

Con las auralizaciones dinámicas se han simulado movimientos de los celebrantes y/o de los receptores. El aspecto más interesante de este tipo de auralización es poder reconstruir el sonido percibido en las procesiones rituales, que eran frecuentes en la liturgia hispánica. Para ello se ha establecido la trayectoria de cada una de los elementos móviles y, gracias a la flexibilidad de cálculo del programa RAVEN, se han calculado las respuestas impulsivas biaurales y las correspondientes auralizaciones para todo el recorrido. La Figura 2 muestra el orden de movimiento de las fuentes sonoras establecido una simulación dinámica en la iglesia de Santa María de Melque.

5 CONCLUSIONES

Gracias a las tecnologías de realidad acústica virtual se ha logrado restituir de una manera verosímil el sonido del Antiguo Rito Hispánico en un grupo de iglesias prerrománicas. Para ello se han construido modelos acústicos de las iglesias en el estado que tenían en la alta edad media. Se han realizado grabaciones anecoicas de una muestra representativa de las melodías que han sido recuperadas del repertorio original del canto mozárabe. Finalmente, se han realizado auralizaciones tanto estáticas como dinámicas representando diferentes configuraciones litúrgicas.

6 AGRADECIMENTOS

Los autores quieren agradecer a los Obispos de Palencia, Valladolid y Zamora y a los párrocos de las iglesias correspondientes, a la Diputación de Toledo, al Excmo. Ayuntamiento de Alcuéscar y a la Consejería de Cultura y Turismo de la Junta de Extremadura su colaboración, indispensable para la realización de este trabajo.

Un agradecimiento especial al grupo SCHOLA ANTIQUA, y en particular a su director Juan Carlos Asensio por su colaboración altruista en este proyecto.

7 REFERENCIAS

- [1] M. Kleiner, B. I. Dalenbäck y P. Svensson, *Auralization-An Overview*, J. Audio Eng. Soc., vol. 41, nº 11, pp. 861-875, 1993.
- [2] J. Asensio Palacios, *Liturgia y música en la Hispania de la Alta Edad Media; el canto visigótico, hispánico o mozárabe*. X Jornadas de Canto Gregoriano: De nuevo con los mozárabes, Zaragoza, 2005.
- [3] M. A. Utrero Agudo, *Iglesias tardoantiguas y altomedievales en la península ibérica: análisis arqueológico y sistemas de abovedamiento*, Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Departamento de Historia Antigua y Arqueología, 2006.
- [4] I. Bango Torviso, *El arte en la España de los siglos VI al XI, Summa Artis, Historia General del Arte*, vol. VIII-II, Madrid: Espasa Calpe, 2001.
- [5] C. Díaz, A. Pedrero, M. A. Navacerrada y C. Carro, *Las características acústicas de las iglesias prerrománicas hispanas*. 39º Congreso Nacional de Acústica y Encuentro Ibérico de Acústica, Coimbra, 2008.
- [6] S. Pelzer, L. Aspök y M. Vorländer, *Interactive real time simulation and auralization for modifiable rooms*. International Symposium on Room Acoustics (ISRA), Toronto, 2013.
- [7] R. Puertas Tricas, *Iglesias Hispánicas (Siglos IV al VIII) Testimonio literarios*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia. Dirección General del Patrimonio Artístico y Cultural, 1975.